

DOI: 10.3969/j.issn.1009-9492.2012.05.013

涡流检测仿真中的多物体问题研究

何荣光, 孙磊, 李岩松

(厦门大学物理与机电工程学院, 福建厦门 361005)

摘要: 传统涡流仿真模型仅包含单一求解区域, 将所有物体囊括在内。随着近代工业科技的飞速发展, 被检物体日趋复杂, 从而使得传统涡流仿真模型的计算效率降低。将单一求解区域划分为数个子区域, 可以有效克服网格模型复杂的问题。简要介绍分解区域在电磁及涡流检测中的应用。

关键词: 涡流检测; 区域分解; 电磁仿真

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1009-9492(2012)05-0052-02

Research of the Multi-Object in Eddy Current Testing Simulation

HE Rong-guang, SUN Lei, LI Yan-song

(Xiamen University, School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen 361005, China)

Abstract: Tradition eddy current testing models have only one solution domain, including all objects. With the high speed develop of Industrial Sciences and Technology, the detected objects become complex, so the convention models are inefficiency. Decomposing the whole domain into some sub-domain is a way to overcome the problem of complex meshes. In this article, author will introduce the domain decomposition method using in electromagnetic problems and application in eddy current testing.

Key words: eddy current testing; domain decomposition method; electromagnetic simulation

0 引言

当代工业科技技术不断发展, 无损检测作为一项低投入、高产出的工程应用技术, 也获得了飞速发展的机遇与挑战。涡流检测是利用导电材料的电磁感应现象, 通过测量感应量的变化进行无损检测的方法, 是五大常规无损检测方法之一。相较于其它检测方法, 涡流检测不需要耦合剂, 对线性材料如管、棒等易于实现自动化, 且能在高温高速的条件下进行多种检测, 对疲劳裂纹进行监工, 操作容易, 检测速度快。基于此, 涡流检测在航空、航天、冶金、机械、化工等领域发挥着越来越重要的作用^[1]。

随着计算机技术和数值分析理论的进步, 计算机仿真在诸多学科中得到了应用和发展, 逐步成为科学实验和理论推导相提并论的重要研究手段。在涡流检测中采用计算机仿真技术, 可以快速有效的验证和优化设计方法及其它参数; 通过显示涡流分布, 加深人们对检测原理和现象的理

解, 培训检测人员^[2]。

传统涡流仿真模型仅包含单一求解区域, 包含所有物体, 如接收线圈、发射线圈、探头及被检样品等。随着制造工艺水平的不断提高, 复合材料的广泛使用, 被检物体的结构日趋复杂, 导致了网格密度的增大, 更进一步导致计算效率的降低和对计算机内存的过高要求。而对整体求解区域进行合理的分解, 可以克服传统方法仅包含单一求解区域的计算效率问题。本文将对现有的区域分解算法进行简要介绍。

1 分解区域在电磁领域的应用

文献[3]中, 作者提出了一种自适应的区域分解-时域有限差分法。时域有限差分法是以差分原理为基础, 在一定体积内和一段时间上对连续电磁场的数据取样, 直接从麦克斯韦方程组出发, 将其转换成为差分方程组。

在该方法中, 将求解区域分解成为若干个独立的求解子域, 并在不同子域建立边界条件, 用

收稿日期: 2012-04-13

以子域之间相互进行自适应检测。

在初始时刻,对包含激励源的区域进行计算,后对第二区域进行边界条件检测,如果满足边界条件,则激活第二区域,反之不进行计算。以此类推,第 $i-1$ 个边界条件满足则激活第 i 个区域,所有被激活的区域将再次作为一个整体进行迭代求解。

文献[3]用三维问题对自适应区域分解-时域有限差分法进行仿真计算,并将最后的结果和普通时域有限差分法及HFSS软件仿真结果进行对比,三个结果较为吻合,且采用自适应区域分解-时域有限差分法可以节约6%的计算时间。

2 基于全离散 $A-\Phi$ 格式的非重叠区域分解算法

文献[4]中,作者对无界区域的涡流问题给出了两种实现模拟磁场方程组的算法。为了处理中断的情况,采用 $A-\Phi$ 法近似求解电磁问题。其中 A 为磁矢量位, Φ 为标量势, $H=A+j\Phi$ 。在该算法中,在空间上对 A 采用有限元,对 Φ 采用标准的节点有限元,边界面上使用匹配的有限元网格。

首先给定初始函数 λ 并设置最大迭代次数Max和当前迭代次数 K 。最大迭代次数Max通常根据经验得出。第一种算法在中间步骤中,使用 A 和 Φ 作为中间量,进行迭代计算,直到迭代次数超过最大迭代次数。为了避免第一种算法中自由度和方程数量的增加,第二种算法中,对 A 和 Φ 进行处理,留下 Φ 作为计算过程的中间变量。使用该算法,总刚度矩阵为带状稀疏矩阵,且在计算过程中只需进行一次刚度矩阵和边界元算子的计算,降低迭代过程的计算量。

3 一种基于插值的区域分解涡流仿真模型

文献[5]中,作者将磁矢量位 A 分解为电流源感应产生的磁矢量位 A_s 和由其他区域感应产生的简化磁矢量位(Reduced Magnetic Vector Potential,简称RMVP) A_r , $A=A_s+A_r$ 。作者模拟了一个带铁芯的线圈扫描一个带通孔和缺陷的铝板。该模型将整体区域分解为铁芯、样品和不进行网格划分的激励线圈。则全区域总磁矢量位可以由子区域磁矢量位表示 $A=A_{coil}+A_{core}+A_{sample}$ 。

在网格生产后先计算不同区域的刚度矩阵并进行预处理。首先计算出线圈产生的 A_{coil} 并计算

磁芯受线圈感应产生的 A_{core} ,然后将两者之和插值到样品网格,并计算出样品受到感应产生的磁矢量位 A_{sample} 。接着计算出总求解区域上的总磁矢量位 A 。如果是第一次迭代,则循环以上步骤,求出第二次迭代的总磁矢量位,并将两次的值进行比较,如果结果收敛,则退出循环,进行后处理;如果未收敛,则继续循环步骤,直到结果收敛为止。

作者在文中将新方法与传统有限元法进行了对比,两种方法得到的结果较为接近。该方法成功避免了因线圈扫描时位置移动而重新进行的网格划分,使所有区域刚度矩阵的计算只进行一次,同时,降低了网格的密度,节约了计算机的存储空间,提高了计算效率降低了计算成本。

4 结论

分解区域概念的提出,成功克服了传统仿真方法中复杂模型的网格划分,以及因模型运动而不可避免的重新生成网格数据,大大提高了计算速度,并降低了对计算机内存的需求。同时,分解区域可以在不同的子区域中采用不同的耦合方法来进一步减少网格大小,提高计算速度,如在文献[5]中,可以在样品中采用无限元网格,而在磁芯网格中采用边界元网格。随着多核计算机的发展,分解区域的方法可以更好的发挥多核计算机的并行计算能力,提高计算机使用效率。

参考文献:

- [1] 谢小荣,杨小林.飞机损伤检测[M].北京:航空工业出版社,2006.
- [2] 曾志伟,孙雨施,William C. L. Shih.涡流检测的有限元仿真[A].全球华人无损检测高峰论坛论文集[C],2011.
- [3] 张华,洪伟,郝张成.求解三维电磁问题的自适应区域分解FDTD方法[J].电波科学学报,2006,21(3):397-402.
- [4] 康彤,吴正鹏,余德浩.无界区域涡流问题计算磁场的非重叠区域分解算法[J].北京广播学院学报,2004,11(4):12-17.
- [5] Zhiwei Zeng, Lalita Udpa, Satish Udpa. Finite element model for simulation of ferrite-core eddy current probe[J]. IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 2010, 46(3): 905-909.

第一作者简介:何荣光,男,1987年生,海南文昌人,硕士研究生。研究领域:涡流检测模拟仿真。

(编辑:向飞)